Titel:

Methodology and algorithm for the derivation of NC path curves for incremental sheet metal forming (ISF) with extended formability limit

Titel:

Methodik und Algorithmus zur Ableitung von Bahnkurven für die Inkrementelle Blechumformung (IBU) mit erweiterten Umformgrenzen

Autoren: Haase, Rico; Weise, Dieter; Melzer, Sebastian; Böhme, Philipp

Keywords:
Incremental Sheet Forming, ISF, NC path, formability, thinning, wall angle, pre form

Inkrementelle Blechumformung, IBU, NC Pfad, Umformbarkeit, Ausdünnung, Zargenwinkel, Vorform

Abstract:
In incremental sheet metal forming, the workpiece is formed successively. The forming zone is localized and moves over the workpiece according to the tool movement. Similar to the metal spinning process, this results in local material thinning and even material failure. In order to be able to produce more complex workpieces, a homogeneous distribution of the material thinning and thus an even wall thickness is aimed for. An advantageous procedure for the "stepwise" shaping of the final geometry is derived from the consideration of a component cross-section. From the geometric considerations, conclusions are derived on the choice of the largest possible mandrel and the reduced material thinning by the step-by-step approximation of the component geometry. The methodical approach can be automated using current computer technology. The result is an algorithm for generating the NC path curves from the desired component geometry.

Abstrakt: Deutsch:
Bei der inkrementellen Blechumformung wird das Werkstück sukzessive umgeformt. Die Umformzone ist dabei örtlich beschränkt und wandert entsprechend der Werkzeugbewegung über das Werkstück. Ähnlich dem Projizierdrücken kommt es dabei zu lokalen Materialausdünnungen bis hin zum Werkstoffversagen. Um möglichst komplexe Werkstücke fertigen zu können, wird daher eine möglichst homogene Verteilung der Materialausdünnung und damit eine gleichmäßige Wandungsdicke angestrebt. Aus der Betrachtung eines Bauteilquerschnittes wird eine vorteilhafte Vorgehensweise zur „stufenweisen" Ausformung

der Endgeometrie abgeleitet. Aus den geometrischen Betrachtungen werden Schlussfolgerungen zur Wahl eines möglichst großen Drückdornes und der reduzierten Materialabstreckung durch das schrittweise Annähern der Bauteilgeometrie abgeleitet. Die methodische Herangehensweise lässt sich dabei mittels aktueller Rechentechnik automatisieren. Im Ergebnis liegt ein Algorithmus zur Erzeugung der NC-Bahnkurven aus der gewünschten Bauteilgeometrie vor.

1. Inkrementelle Blechumformung mit erweiterten Prozessgrenzen

Die Inkrementelle Blechumformung (IBU) wird zunehmend zur Herstellung verschiedenster Werkstücke in kleinen Stückzahlen eingesetzt. Prinzipbedingt ist die Umformzone im Verhältnis zu den Werkstückabmessungen verhältnismäßig klein und bewegt sich entsprechend der Werkzeugkinematik über das Werkstück. Durch die Summe der kleinen, lokalen Umformungen entsteht die finale Bauteilgeometrie. Durch dieses ungünstige Verhältnis zwischen der momentan kleinen Umformzone und der großen Bauteilausdehnung ist eine Auslegung des Umformprozesses durch die in der Umformtechnik sonst üblichen simulativen Ansätze zwar theoretisch möglich, aufgrund der Modellparameter (extrem kleine Elementgröße, komplexe Werkzeugkinematik, hohe Prozessdauer) steigen die Rechenzeiten derartig an, dass die Simulation für die IBU praktisch kaum Anwendung findet.

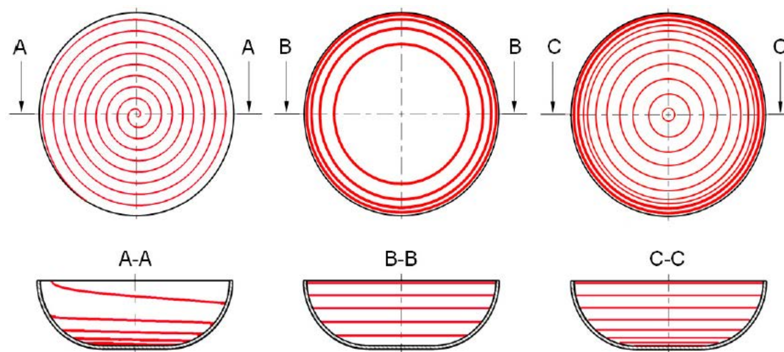
Aus der Betrachtung der lokalen Umformzone lassen sich jedoch folgende Tendenzen ableiten:

- Der Drückdorn formt eine lokale Vertiefung in das Blech, wobei die höchste Vergleichsdehnung bzw. Materialausdünnung am Pol des eindringenden Körpers auftritt.
  ➔ Analogie zur Erichsen-Tiefung, jedoch ohne die definierten Rand- bzw. Einspannbedingungen
- Die durch den isoliert betrachteten Drückvorgang hervorgerufene, lokale Blechausdünnung verteilt sich in einer Glockenkurve um diesen Momentanpol.
- Je größer der Radius des Drückdorns, umso großflächiger ist die Materialausdünnung verteilt.
- Die am Fertigteil verbleibende Restblechdicke ergibt sich aus der Überlagerung der einzelnen Drückvorgänge.

Um eine möglichst hohe Restblechdicke zu erhalten, sind dementsprechend möglichst großflächige Vertiefungen zu erzeugen, wozu Drückdorne mit möglichst großem Radius zum Einsatz kommen.

2. **Wie wurde dieses Problem bisher gelöst?**

Die Bahnauslegung erfolgt derzeit vorrangig nach empirischen Erkenntnissen und einfachen geometrischen Überlegungen. Aufgrund der verwendeten Anlagentechnik haben sich einige wenige Zustellstrategien für die Werkzeugbewegung etabliert:



Während ein helixförmiger Werkzeugpfad vor allem bei rotationssymmetrischen Werkstücken verwendet wird, sind die „z-konstante“ und konturparallele Zustellung auch auf komplexere Geometrien übertragbar und entsprechend weit verbreitet.

Das Defizit dieser Lösung besteht darin, dass die Erzeugung des Werkzeugpfades überwiegend durch eine CAD-Konstruktion und/oder NC-Programmierung dominiert wird. Die im vorangegangenen Abschnitt erläuterten Aspekte der lokalen Materialausdünnung finden dabei keine Beachtung. So wird der Drückdorndurchmesser nach der größten Bauteilkrümmung ausgewählt. Die Bahnkurven entstehen durch ein ‚Slicen‘ der Geometrie, Erzeugen der Schnittlinien und verbinden zu einem kontinuierlichen Werkzeugpfad.

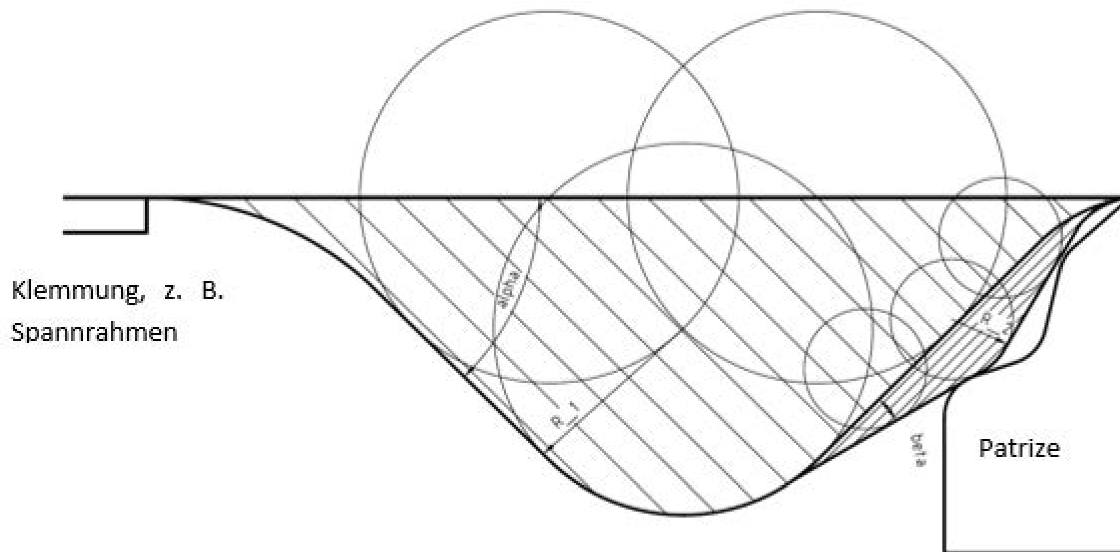
3. **Neuer Lösungsansatz**

Zentrale Zielstellung besteht in einer maximalen verbleibenden Restblechdicke und der damit verbundenen erweiterten Prozessgrenzen bzw. geometrischen Komplexität der Bauteile.

Leitgedanken sind dabei:

- Zerlegung des Umformprozesses in ‚Umformstufen‘ ähnlich dem Tiefziehen
- Erzeugen der möglichst großflächigen Vertiefungen je Umformstufe und damit
- Verwendung von möglichst großen Drückdornen (großer Radius der Wirkfläche)

Am Beispiel eines Formteiles, dass im fixierten Spannrahmen gegen eine Patrize geformt wird soll die Methodik verdeutlicht werden:



Im ersten Umformschritt wird durch den Dorn mit Radius R_1 eine Sicke eingedrückt, die den Zargenwinkel alpha aufweist. Die größte Blechausdünnung erfolgt am Pol, jedoch wird auch im Randbereich nahe der Blechklemmung noch Material abgestreckt. Die Bahnen liegen in dieser Schnittansicht innerhalb des gleichseitigen Dreiecks, das dem Zargenwinkel der Sicke entspricht.

Die Bahnerzeugung kann für diesen Einzelschritt z-konstant erfolgen. Im zweiten Umformschritt wird die innere Zarge der Sicke weiter an die Bauteilkontur angenähert. Dazu wird die Herangehensweise aus dem ersten Umformschritt auf die Innenzarge übertragen. Nun formt ein Dorn mit Radius R_2 eine Sicke mit Zargenwinkel beta. Durch eine mehrfache Verschachtelung dieser Vorgehensweise entsteht recht zügig eine gute Annäherung an die Sollkontur. Die räumliche Bahnkurve entsteht durch die Betrachtung mehrerer Schnittebenen um die Mantelfläche der Patrize herum.

In Abhängigkeit des eingesetzten Materials und des Zargenwinkels in den Einzelstufen lässt sich die bereits erläuterte, glockenförmige Ausdünnungsverteilung ermitteln. Durch eine Summenbildung wird eine Prognose der verbleibenden Materialstärke ermöglicht.

4. Zusammenfassung / Ausblick

Die hier vorgestellte Methodik hat bei der Anwendung auf erste Versuchsbauteile (Sattelschale und Hockerteile aus dem Cornet-Projekt „TailComp“ IGF 164EBR/1) bereits ihre Leistungsfähigkeit insbesondere in Hinblick auf eine reduzierte lokale Materialausdünnung und damit eine deutlich verzögerte Rissausbildung unter Beweis gestellt. Die Erzeugung der Bahnkurven erfolgte dennoch auf konventionellem Wege per CAM-Software. Eine skriptbasierte, teilautomatisierte CAD-Implementierung ist jedoch ebenfalls denkbar.

5. Bildmaterial

Status quo: z-konstante Zustellung (‚Slicen') entlang der Bauteilkontur (links) und daraus resultierende Rissbildung (rechts)





Neuer Lösungsansatz: Verwendung einer Vorform mit erhöhtem Stempeldurchmesser zur Ausformung einer großflächigen Sicke und entsprechend rissfreie Bauteilfertigung



